

# СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ШВИДКІСТЮ СИНХРОННОГО ДВИГУНА ЗІ ЗБУДЖЕННЯМ ВІД ПОСТІЙНИХ МАГНІТІВ НА ОСНОВІ КОНЦЕПЦІЇ ЗВОРОТНИХ ЗАДАЧ ДИНАМІКИ

Островерхов М.Я., доц., к.т.н.; Андрейчук Д.І., студент  
кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

**Вступ.** Синхронні двигуни з постійними магнітами отримали досить широке розповсюдження внаслідок вигідних пускових і робочих властивостей. Ці двигуни надійні в роботі, мають високу швидкодію, високі енергетичні показники, широкий діапазон зміни частоти обертання та зручність керування. При традиційному методі вирішення задач керування виникає потреба мати повну та достовірну інформацію про параметри математичної моделі об'єкту керування, зміна яких призводить до зміни якості керування. Робастні регулятори, що побудовані на основі концепції зворотної задачі динаміки, дозволяють отримувати бажані динамічні властивості при широкій зміні параметрів системи, що дає змогу покращити якість керування [1].

**Мета досліджень.** Підвищення якості керування швидкості синхронного двигуна з постійними магнітами в умовах параметричних збурень шляхом розробки закону керування на основі концепції зворотних задач динаміки в поєднанні з мінімізацією локальних функціоналів миттєвих значень енергій.

**Матеріали досліджень.** Математична модель синхронного двигуна з постійними магнітами представляється наступними диференційними рівняннями:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} i_d &= \frac{1}{L_d} u_d - \frac{R}{L_d} i_d + \frac{L_q}{L_d} p \omega_r i_q \\ \frac{d}{dt} i_q &= \frac{1}{L_q} u_q - \frac{R}{L_q} i_q - \frac{L_d}{L_q} p \omega_r i_d - \frac{\lambda p \omega_r}{L_q} \\ M_e &= 1.5 p [\lambda i_q + (L_d - L_q) i_d i_q] \\ \frac{d}{dt} \omega_r &= \frac{1}{J} M_e - \frac{1}{J} M_c \end{aligned} ,$$

де  $L_d, L_q$  – проекції індуктивностей статора на осі системи координат  $d-q$ ;  $R$  – активний опір обмотки статора;  $i_d, i_q$  – проекції струму статора на осі системи координат  $d-q$ ;  $u_d, u_q$  – проекції напруги статора на осі системи координат  $d-q$ ;  $\omega_r$  – кутова швидкість ротора;  $\lambda$  – магнітний потік, що наводиться постійними магнітами в обмотці статора;  $p$  – кількість пар полюсів;  $M_e, M_c$  – електромагнітний та статичний момент;  $\omega$  – момент інерції.

Бажана якість керування замкнутого контуру при застосуванні концепції зворотних задач динаміки в поєднанні з мінімізацією локальних функціоналів задається за допомогою диференційного рівняння наступного вигляду [1]

$$\frac{d^n z}{dt^n} + \sum_{i=0}^{n-1} \alpha_i \frac{d^i z}{dt^i} = \sum_{j=0}^m \beta_j \frac{d^j x^*}{dt^j}$$

Коефіцієнти рівняння  $\alpha_j$  та  $\beta_j$  визначають характер та тривалість перехідного процесу вихідної координати  $z$  при русі по заданій траєкторії  $x^*$ . Порядок рівняння для контуру швидкості вибирається на одиницю вище за порядок рівняння об'єкту керування (останнє рівняння моделі) для забезпечення астатизму другого порядку [2]

$$\ddot{z} + \alpha_1 \dot{z} + \alpha_0 z = \alpha_1 \dot{x}^* + \alpha_0 x^*$$

Ступінь наближення реального процесу до бажаного оцінюється функціоналом, який характеризує нормовану за моментом інерції енергію другої похідної швидкості  $G(u) = \frac{1}{2} [\ddot{z}(t) - \ddot{\omega}_r(t, u)]^2$ . Мінімізація функціоналу здійснюється за

градієнтною схемою першого порядку [2]  $\frac{du(t)}{dt} = -\lambda \frac{dG(u)}{du}$ , (де  $\lambda > 0$  – константа).

В результаті отримано регулятор швидкості, структурна схема якого показана на рис. 1.

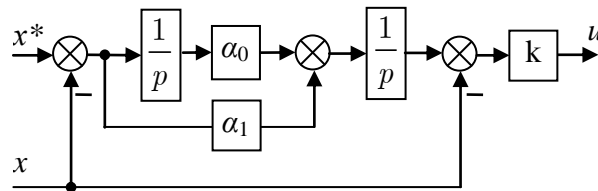


Рисунок 1 – Структурна схема регулятора швидкості

Дослідження якості керування проводилось шляхом моделювання системи автоматичного керування швидкістю двигуна потужністю 1 кВт з розробленим та традиційним ПІ-регулятором за допомогою бібліотеки блоків SimPowerSystems середовища моделювання Simulink. Структурна схема моделі представлена на рис. 2.

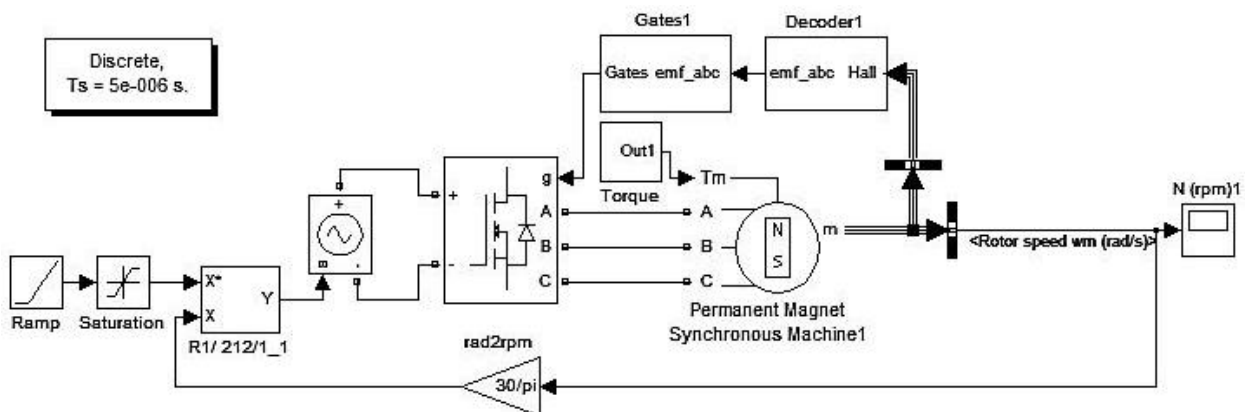


Рисунок 2 – Модель системи автоматичного керування швидкістю

Параметри робастного регулятора:  $\alpha_0=20000$ ;  $\alpha_1=500$ ;  $k=1$ , а традиційного ПІ-регулятора: інтегральна складова  $k_I = 20,6$ ; пропорційна складова  $k_P = 0,005$ . В якості параметричного збурення виступає момент інерції механізму. На рис. 3 показані сигнал завдання швидкості двигуна разом з фактичними значеннями

швидкості для традиційного та робастного регуляторів, графік статичного моменту двигуна, а також статичні похибки для різних значень моменту інерції механізму. З рисунку видно, що при використанні робастного регулятора зміна моменту інерції впливає на якість динамічних режимів значно менше, ніж при використанні традиційного регулятора. Крім того робастний регулятор, на відміну від традиційного, забезпечує стійку роботу системи, навіть, при  $J = 5J_H$ .

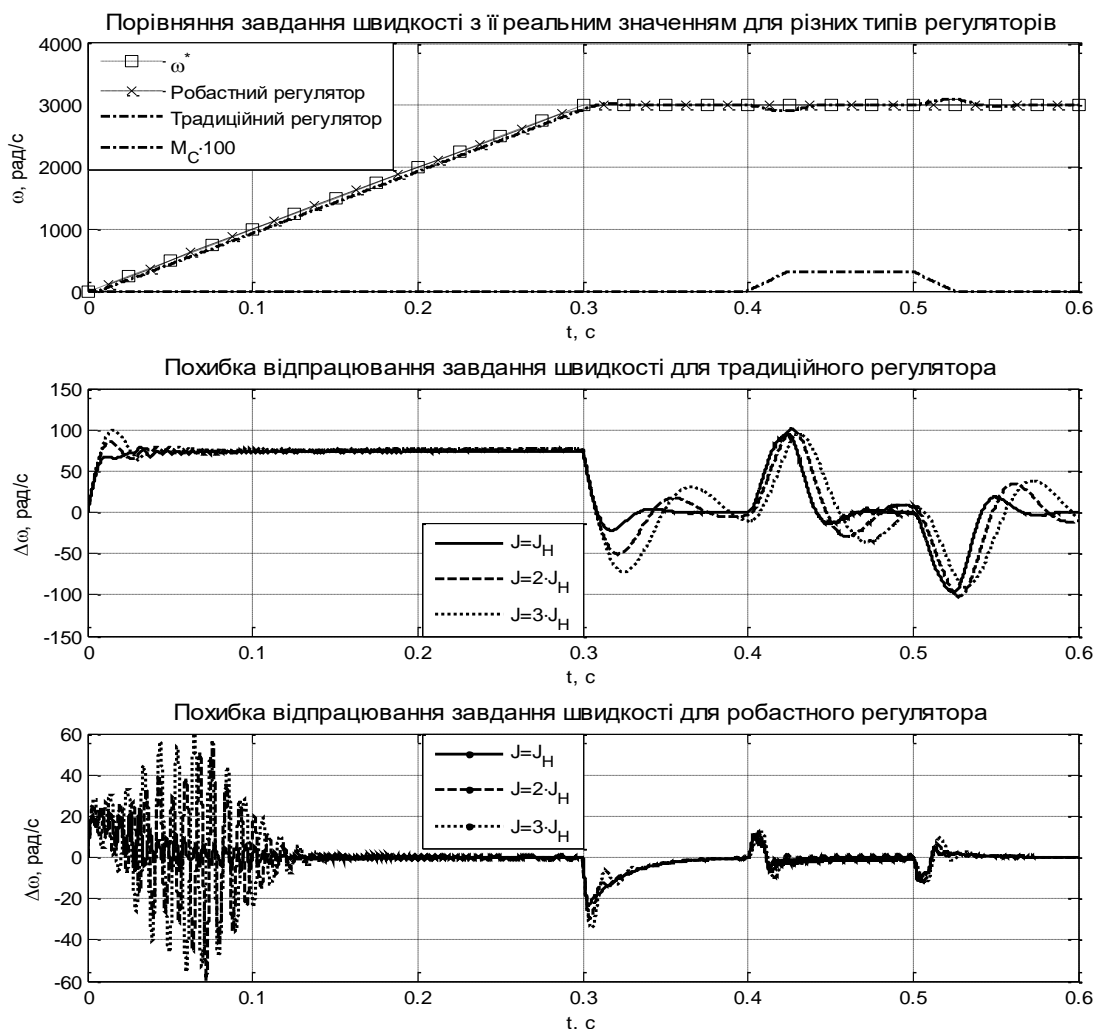


Рисунок 3 – Графіки перехідних процесів

**Висновки.** Представлена система керування швидкості двигуна на основі концепції зворотних задач динаміки забезпечує в умовах зміни моменту інерції високу якість керування без застосування громіздких алгоритмів ідентифікації параметрів чи адитивного керування.

#### Перелік посилань

1. Крутько П.Д. Декомпозирующие алгоритмы робастно устойчивых нелинейных многосвязных управляемых систем. Теория и прикладные задачи // Изв. РАН. ТиСУ. – 2005. – № 1. – С. 5-11.
2. Островерхов М.Я. Метод синтеза регуляторов электромеханических систем на основе концепции зворотних задач динаміки в поєднанні з мінімізацією локальних функціоналів миттєвих значень енергій руху/ Вісник НТУ „Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2008. – № 30. – С. 105-110.